

南部フォッサマグナにおける二枚貝化石変形と 礫の破断による応力解析

田力とよ子*・新妻信明**

Stress analysis based on deformed molluscan fossils
and fractured gravel from conglomerate in the South Fossa Magna

Toyoko TAJIKARA* and Nobuaki NIITSUMA**

Deformed molluscan fossils are contained in the Osozawa Sandstone Member of the Karasumoriyama Formation on the road cliff south of the Hayakawa River (Fig. 2). The sandstone consists of volcanic sand grains of andesitic volcanic origin, and is overlain by the Akebono Conglomerate, which contains fractured gravel (TAMURA et al., 1984).

Detailed measurements on the deformed molluscan fossils and fractured gravel were carried out for a graduate thesis at the School of Education, Shizuoka University (TAJIKARA, T., 1979 MS). This paper presents the results.

The outcrop of the Osozawa Sandstone Member sits on the axis of a N-S trending syncline; its bedding plane is oriented N 80° W 80° N. The fossils of *Dentalium* sp., *Glycymeris cisshuensis* MAKIYAMA, *Lima* sp., and a single coral appear. 155 oriented specimens of *Glycymeris cisshuensis* were collected and measured. Left and right valves are separated dominantly convex up with the apertural surfaces of the valves oriented N 82° W 73° N, which is parallel to the bedding plane (Fig. 3). The amount of deformation is +10.1% and -9.0% (Fig. 5): the elongated long and short axes are oriented N 51° W 59° D and N 85° E 25° D, respectively (Figs. 6,7). The axes are almost parallel to the bedding plane and the maximum compressional axis is oriented E-W, which is consistent with the stress orientations obtained from the conjugate sets of fractures in the gravel of the Akebono Conglomerate (Fig. 10). Because the intermediate principal axis is vertical to the bedding plane, the molluscan fossils can be estimated to have been deformed before tilting of the bedding plane under a horizontal stress comparable to the overburden of the Akebono Conglomerate, which has a thickness of more than 1800 m.

Key words: Osozawa Sandstone Member, Akebono Conglomerate, *Glycymeris cisshuensis*, deformed molluscan shells, fractured gavel, stress.

* 静岡県引佐郡引佐町立伊谷小学校

Inoia Primary School, Inasa-cho, Inasa-gun, Shizuoka Prefecture, 431-22 Japan

** 静岡大学理学部地球科学教室

Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422 Japan

1. 緒 論

南部フォッサマグナ地域は、島弧と島弧が衝突している地域として注目を集めており、1980年代の地球科学における国際研究計画である「国際リソスフェア探査開発計画 (DELP)」においても重要なテーマとして取り上げられ、多くの成果があげられた (MATSUDA & NIITSUMA, 1989; NIITSUMA, 1991). これらの成果に「しんかい2000」による駿河トラフの潜航調査結果 (新妻ほか, 1990) を総合し、南部フォッサマグナの地質を中新世以後の島弧の衝突帯として理解する提案がなされ (新妻, 1991), これらに基づき1992年の万国地質学会の野外巡検が実施された (NIITSUMA, 1992).

南部フォッサマグナにおける衝突過程を理解するためには、無視してはならない幾つかの地質学的事実が存在するが、ともするとこれらが忘れられ、机上のモデル論争が行なわれることが多い。DELPにおいて多くの成果が上げられたが、南部フォッサマグナ地域北部に存在する膨大な礫の集積体である曙礫岩とその下位に存在する浅海成の遅沢砂岩部層の存在 (大塚, 1934; 金子ほか, 1983など) についての説明を得るに至らなかった。この2つの地質体の存在は、南部フォッサマグナにおける衝突過程を理解するために以下の点で重要である。1) 曙礫岩の堆積年代は、丹沢ブロックの衝突後で伊豆ブロックの衝突前であり (狩野ほか, 1985), 両衝突と直接関係を持たない。2) 富士川流域に分布する富士川層群の堆積深度はいずれも深海-半深海であるのに対し (AKIMOTO, 1991), 唯一の例外として浅海成の遅沢砂岩部層が存在する。3) 曙礫岩および遅沢砂岩部層の分布地域が、富士川下流部に分布する丹沢衝突時に大量に供給された礫岩体 (AMANO, 1991) よりもはるか北側に存在し、身延衝上断層に沿って南方に追跡できる (図1)。

これらの事実は、現在の富士川河口-駿河トラフにおいて現在進行している衝突過程と比較することによって説明できることが明らかになった。伊豆半島松崎沖の駿河トラフにおいて、浅海成砂岩が水深1500m以深まで伊豆側崖に分布しており、貝化石を含んでいる。このトラフの軸部では、火山岩類から

なる伊豆側崖が泥岩・礫岩からなる静岡側に衝突し、トラフの閉塞過程が進行している。この北側には、富士川から供給される礫が集積し、大規模な海底扇状地・三角州を形成している。これらの状況は遅沢砂岩部層と曙礫岩の状況と極めて類似している。現在は、伊豆ブロックが衝突し、衝突境界が伊豆半島の南方に移動する前の時期に相当しているが、曙礫岩の場合には丹沢ブロック衝突後、伊豆ブロック衝突前に相当し、衝突過程においても良く一致する。松崎沖に分布する浅海成砂岩は、現在の錢洲海嶺に相当する隆起帯上に堆積したもので、その隆起帯は伊豆衝突前に形成されたものと考えられる。遅沢砂岩部層は丹沢衝突前に形成された同様の隆起帯である御坂隆起帯上に形成されたと考えられる (新妻, 1991; NIITSUMA, 1992; 新妻ほか, 1992)。

遅沢砂岩部層と曙礫岩がどのようなテクトニック場において形成され変形したかということは、現在進行している駿河トラフの閉塞過程を理解するためにも重要である。遅沢砂岩部層に含まれる貝化石は著しく変形しており、曙礫岩の礫は破断している。この異常な応力状態を定量的に解析することは、南部フォッサマグナにおける衝突過程の力学を構築する上に必要不可欠である。早川流域の小原島には遅沢砂岩部層と曙礫岩の好露出があり、変形した二枚貝化石や破断した礫が観察できる。変形した貝化石の産出する露頭は、山梨県の自然天然記念物に指定された部分を除きコンクリート壁が築かれ、化石の採取はできないが、以前に静岡大学教育学部の卒業論文において、貝化石変形の定量的解析および礫の破断面測定から応力が求められている (田力, 1979 MS)。このような研究は、現在では実施できないので、今後の研究への基礎資料として、本論文においてその成果を公表する。二枚貝化石の変形を解析した例としては、BREDDIN (1964) のモラッセ中の化石についての報告がある。

2. 地質概説

この地域は、ほぼ南北方向の褶曲軸を持つ大きな向斜構造を有しており、向斜軸部には曙礫岩が露出しており、それを取り囲むように烏森山火山碎屑岩

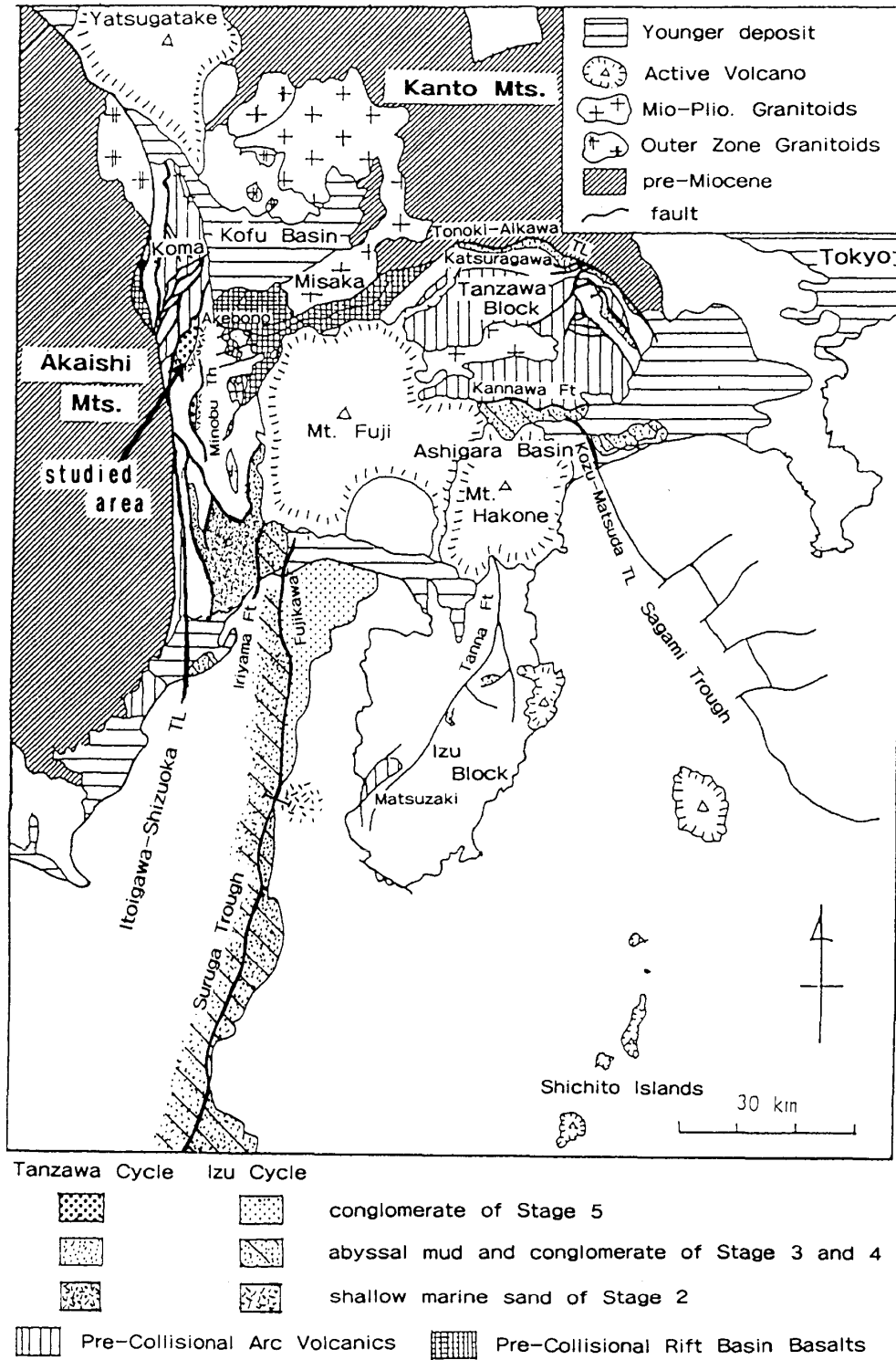


図1 調査地域と南部フォッサマグナ地域の地質概略図。遅沢砂岩部層は丹沢サイクルのStage 2、曙礫岩は丹沢サイクルの Stage 5 に当たる (新妻, 1991 ; NIITSUMA, 1992 ; 新妻ほか, 1992). TL : 構造線, Ft : 断層, Th : 衝上断層
 Fig. 1. Studied area and compiled geologic map of the South Fossa Magna. Osozawa Sandstone Member and Akebono Conglomerate represent Stage 2 and Stage 5 of the Tanzawa Collisional Cycle, respectively (NIITSUMA, 1991, 1992; NIITSUMA et al., 1992). TL: Tectonic Line, Ft: fault, and Th: thrust.

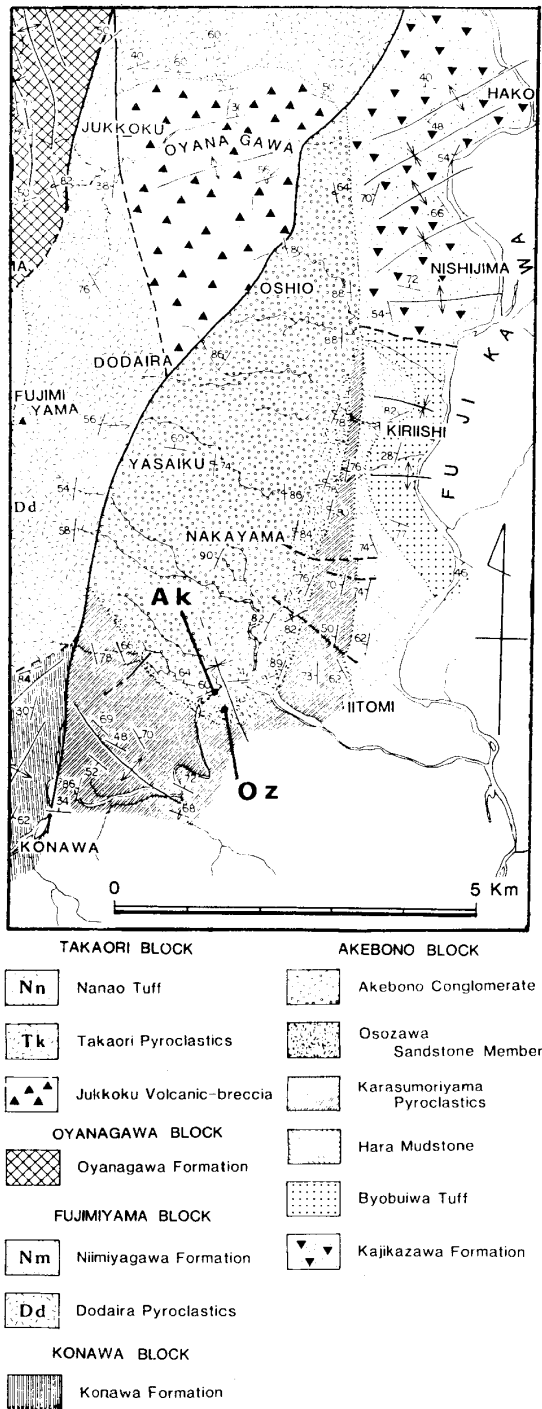


図2 調査地域の地質図(田村ほか, 1984より). Oz: 貝化石変形測定を行なった遅沢砂岩部層の露頭位置, Ak: 礫の断裂方向測定を行なった曙礫岩の露頭位置.

Fig. 2. Geologic map of studied area (after TAMURA et al., 1984). Oz: outcrop of the Osozawa Sandstone Member used for analysis of the deformation of molluscan fossils, Ak: outcrop of the Akebono Conglomerate used for analysis of the gravel fractures.

類が分布している. 烏森山火山碎屑岩類の上部は浅海における侵食を受け, 浅海性化石に富む砂岩となり, 遅沢砂岩部層として区別される. 遅沢砂岩部層は主として黒色安山岩質物から構成される砂岩および集塊岩質礫岩からなり, 下位の烏森山火山碎屑岩類へと漸移する(田村ほか, 1984). 遅沢砂岩部層の走向・傾斜はN 30° E 80° NWから, 西に向かって走向が東西となり, さらにN 55° ~70° W 70° Nとなる. 化石を採取した小原島は走向が東西となる向斜軸部に位置している(図2).

曙礫岩層は主に拳大~人頭大の礫と粗粒砂岩の基質からなる. 円礫の礫種は, 砂岩, 頁岩, 黒雲母花崗岩, 黒雲母斑状花崗閃緑岩, 角閃石安山岩, 両輝石安山岩, 角閃石両輝石安山岩, 安山岩質凝灰岩, まれにチャート, ホルンフェルスの礫も含む(高木・岡田, 1987).

3. 化石採取地点

露頭は小原島の東方, 早川南岸で, 幅約20m高さ約10mの崖である(Oz: 図2). 岩相は粗粒砂岩と直径2-5mm程度の細礫が不均質に混合した礫質砂岩ないし砂質礫岩である. 層理面は一般に不明瞭であるが, 部分的に見られる砂岩や細粒礫岩の薄いレンズからE W (±10°) 70° ~80° Nの層理面走向傾斜が得られる. 二枚貝化石の両殻が接合する殻口面の方向はN 80° W 70° Nの方向が卓越しており, 二枚の殻が分離している場合には, 仰向けの殻よりも伏した殻の方が多いことから, この化石は海底面に堆積した状態を保っていると考えられる.

本露頭では, *Dentalium* sp., *Glycymeris cisshuensis* MAKIYAMA, *Lima* sp. 単体珊瑚などを産出する. 歪み測定に使用した化石は, *Glycymeris cisshuensis* MAKIYAMAである. *G. cisshuensis*は本露頭に密集しており, しかも同じ方向に長く伸びた変形を被っている. 殻の直径は35mm程度のもので多く, 露頭において見分けることが容易である. 片殻のものが多く, 両殻がそろって産出するものは15%程度である. 割れたり欠けたりしている殻は少なく, 殻の保存は良い.

4. 採取方法

露頭において*G. cisshuensis*殻の位置関係を記録し、*G. cisshuensis*殻表面の最も平らな部分の走向・傾斜を測定するとともにそれらの方向をその面に記入した。次にタガネを用いて1個ずつ露頭から取り出した。貝殻が密集している場合には、走向・傾斜を測定・記入した地層をブロックとして採取した。実験室では粘土を用いて、露頭における方向に固定し、殻の方位を測定した。

5. 採取試料

155個の殻の採取を行なったが、露頭から取り出す際に破損して測定不能になったものが22個、方位測定前に露頭から外れてしまったもの22個、殻の縁が局所的に折れ曲がっている殻が18個ある。局所的な折れ曲がり、殻に接する小礫によって変形したものである。これらの試料の内、歪み量の測定には133個、歪みをもたらしただ応力方向の測定には125個の試料を使用した。

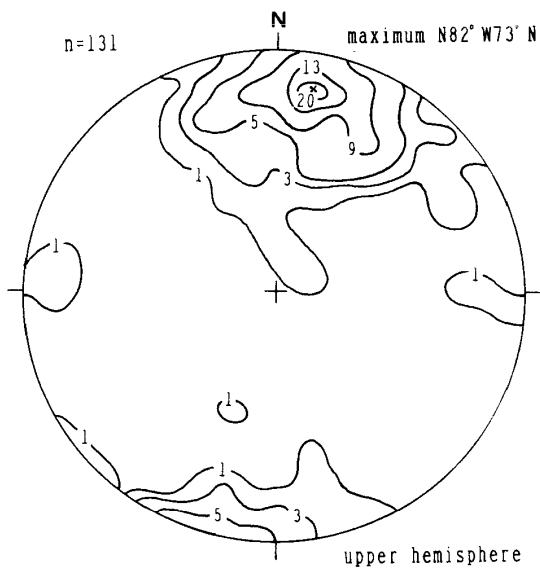


図3 *G. cisshuensis*の殻口面の極の上半球ステレオネット投影。測定数：131。集中方向：N 82° W 73° N。

Fig. 3. Stereographic projection of 131 poles of the apertural surface of the valve of *G. cisshuensis* on the upper hemisphere. The maximum direction is N 82° W 73° N.

6. 歪量測定法

変形した*G. cisshuensis*の最も伸びている方向を長軸とし、その長さを長径 (l_1) とする。長軸に直交する方向で最も長い軸を短軸とし、その径を短径 (l_2) とする。変形を等面積変形と仮定し、以下の諸量を定義する。

変形前の殻の直径	$L = \sqrt{l_1 \cdot l_2}$
伸張率	$E = (l_1 - L) / L$
短縮率	$S = (L - l_2) / L$
伸縮比	$R = l_1 / l_2$

変形した殻を露頭での方位に復元し、殻口面上での l_1 と l_2 の方位をクリノメーターで測定した。測定に当たっては、殻に当てる部分をくり抜いた半透明のプラスチック板を補助板として使用した。

7. 変形前の形態測定

粘土を用いて*G. cisshuensis*の殻口面を水平に固定し、直上から写真撮影し (Plate 1), そのネガフィルムを2枚の透明ガラス板に挟み、万能投影機で観察した。投影機のステージ面とフィルムの角度および方向を変化させて、投影像が最も円形に近くなる位置において、変形前の殻頂を a_1 とし、殻高軸 ($a_1 - a_2$) と殻長軸 ($b_1 - b_2$) を求め、変形後のそれらの軸を殻頂 a_1 を規準にして ($a_1 - a_2'$), ($b_1' - b_2'$) とし、両軸のなす角を殻変形角 θ とし、殻高軸 ($a_1 - a_2'$) と長軸 l_1 のなす角を長軸角 ω とし、測定を行なった。

8. 測定結果

測定された131個の殻口面の方向は、N 82° W 73° Nに良く集中し (図3), 露頭における地層の走向・傾斜に一致する。

長径 l_1 は変形前の直径 L の1.1倍、短径 l_2 は0.9倍になっている (図4)。伸張率 E は7.5~10.0%のものが最も多く38個、モードは8.8%で平均は10.1%である。短縮率 S は-7.5~-10.0%のものが最も多く43個、モードは-8.8%、平均は-9.0%である (図5)。

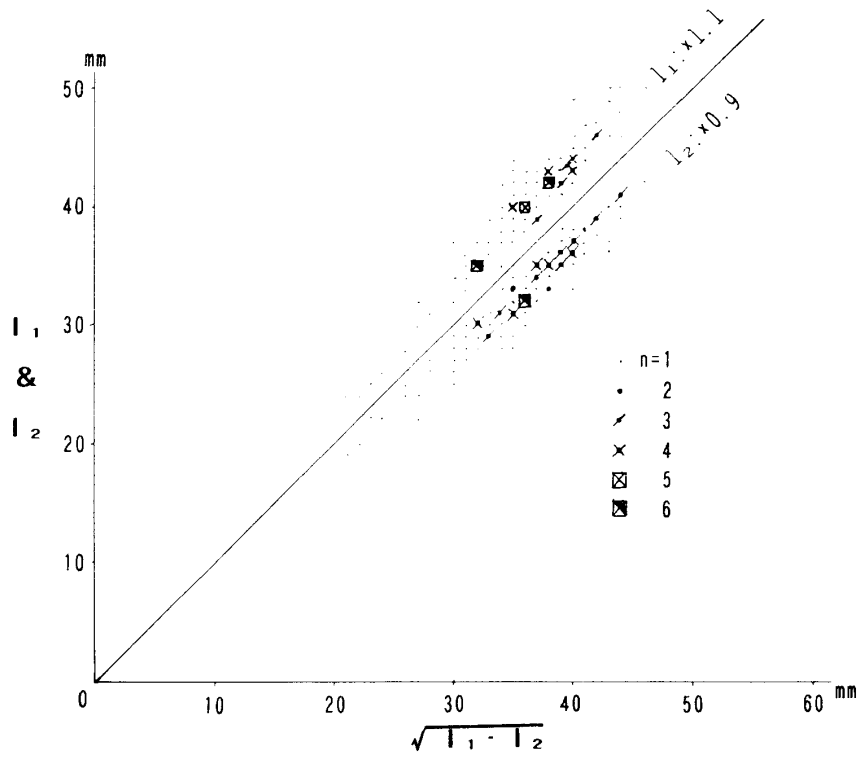


図4 変形 *G. cisshuensis*の長径(l_1) および短径(l_2) と変形前の殻直径($L = \sqrt{l_1 \cdot l_2}$).
 Fig. 4. Relation of the maximum diameter (l_1) and minimum diameter (l_2) of the deformed *G. cisshuensis* with the original diameter ($L = \sqrt{l_1 \cdot l_2}$).

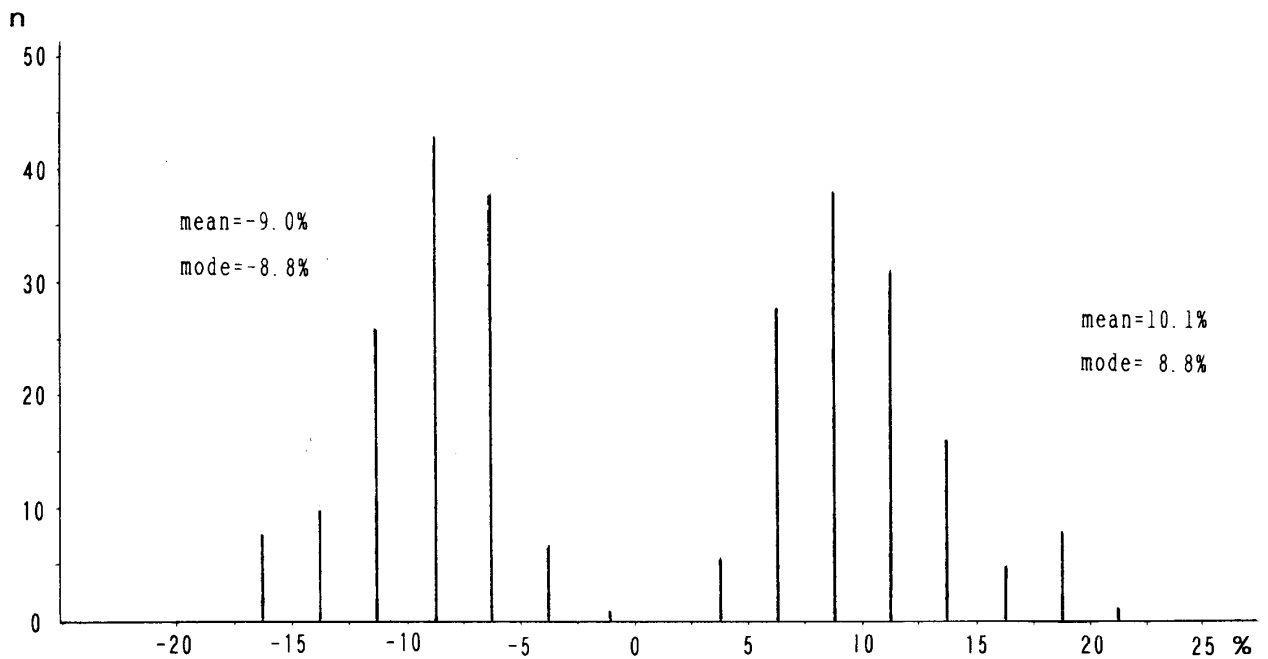


図5 変形 *G. cisshuensis*の伸張率 (E) と短縮率 (S) 頻度分布。
 Fig. 5. Histogram of the expanding ratio (E) and shortening ratio (S) of the deformed *G. cisshuensis*.

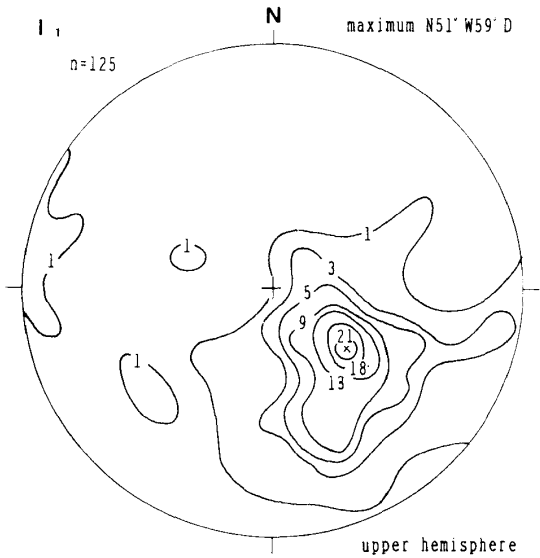


図6 変形 *G. cisshuensis* の長軸方向の上半球ステレオネット投影. 測定数: 125. 集中方向: N 51° W 59° D.
 Fig. 6. Stereographic projection of 125 directions of the expanding axis of the deformed *G. cisshuensis* on the upper hemisphere. The direction with maximum frequency is N 51° W 59° D.

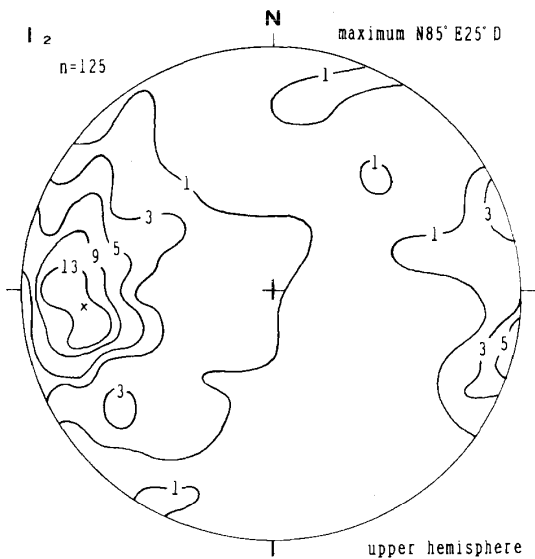


図7 変形 *G. cisshuensis* の短軸方向の上半球ステレオネット投影. 測定数: 125. 集中方向: N 85° W 25° D.
 Fig. 7. Stereographic projection of 125 directions of the shortening axis of the deformed *G. cisshuensis* on the upper hemisphere. The direction with maximum frequency is N 85° W 25° D.

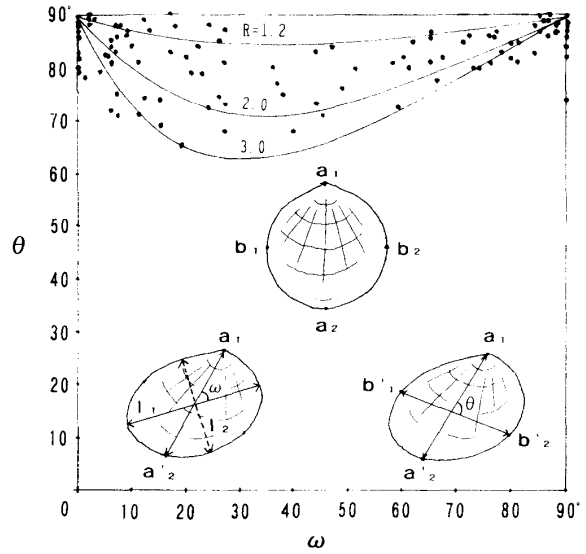


図8 変形 *G. cisshuensis* の殻変形角 θ ($a_1 - a_2' \wedge b_1' - b_2'$) と長軸角 ω ($a_1 - a_2' \wedge l_1$) の関係。
 Fig. 8. Relation between deformed angle θ ($a_1 - a_2' \wedge b_1' - b_2'$) and expanding angle ω ($a_1 - a_2' \wedge l_1$) of the deformed *G. cisshuensis*.

長軸 (l_1) と短軸 (l_2) の方向は良く集中しており (図6・7), それぞれ N 51° W 59° D, N 85° E 25° D の方向をもち, 両軸のなす角は 89° とほぼ直交している。

殻変形角 θ と殻高軸・長軸間角 ω の関係をみると, ω が 0° と 90° の時には殻変形角 θ はほぼ 90° で, ω が 30~45° の時に θ は最小値を持ち約 80° となる (図8). 変形が均質に起こっている場合には θ , ω および伸縮比 R の関係が存在し, ω が 0° と 90° の時には殻変形角 θ は 90° と変化せず殻高軸および殻長軸の方向が伸縮するのみであるが, ω が中間の値を持つ時には

$$\theta = \omega + \text{Tan}^{-1} (\cot \omega / R)$$

の関係が成立し, ω が 30~45° の時に最小値を持つ。計測された伸縮率 $R = 1.21$ を用いると $\omega = 45^\circ$ において $\theta = 85^\circ$ となり, 測定された値の最大値とほぼ合致する。

9. 礫の破断面測定

上述の化石を採取した露頭の早川の対岸の曙礫岩

の露頭について測定を行なった (Ak: 図2)。露頭は高さ約10mで早川沿いに崖をなしており、主として直径1~10cmの礫と粗粒砂の基質からなる曙礫岩である。砂岩レンズや礫の配列からN86° W75° Nの層理面の走向・傾斜が得られる。本露頭の礫は大小を問わず破断しており、ほぼ水平な破断面が卓越している。花崗岩礫の中には破断しないで引き伸ばされているものもある。

41個の礫に存在する共役破断面の方向から最大圧縮応力軸 (σ_1)、中間圧縮応力軸 (σ_2)、最小圧縮応力軸 (σ_3) 方向を求めた (図9 a, b, c)。 σ_1 方向はN 82° W 8° U, σ_2 方向はN 23° E 10° U, σ_3 方向はN 60° E 82° Dである。

10. 考 察

歪解析を行なった貝化石 *Glycymeris*属はその殻形態が類円形であることによって特徴付けられており、この種の解析には最適である。今回の解析に用いた試料はいずれも著しく変形しており、変形前の

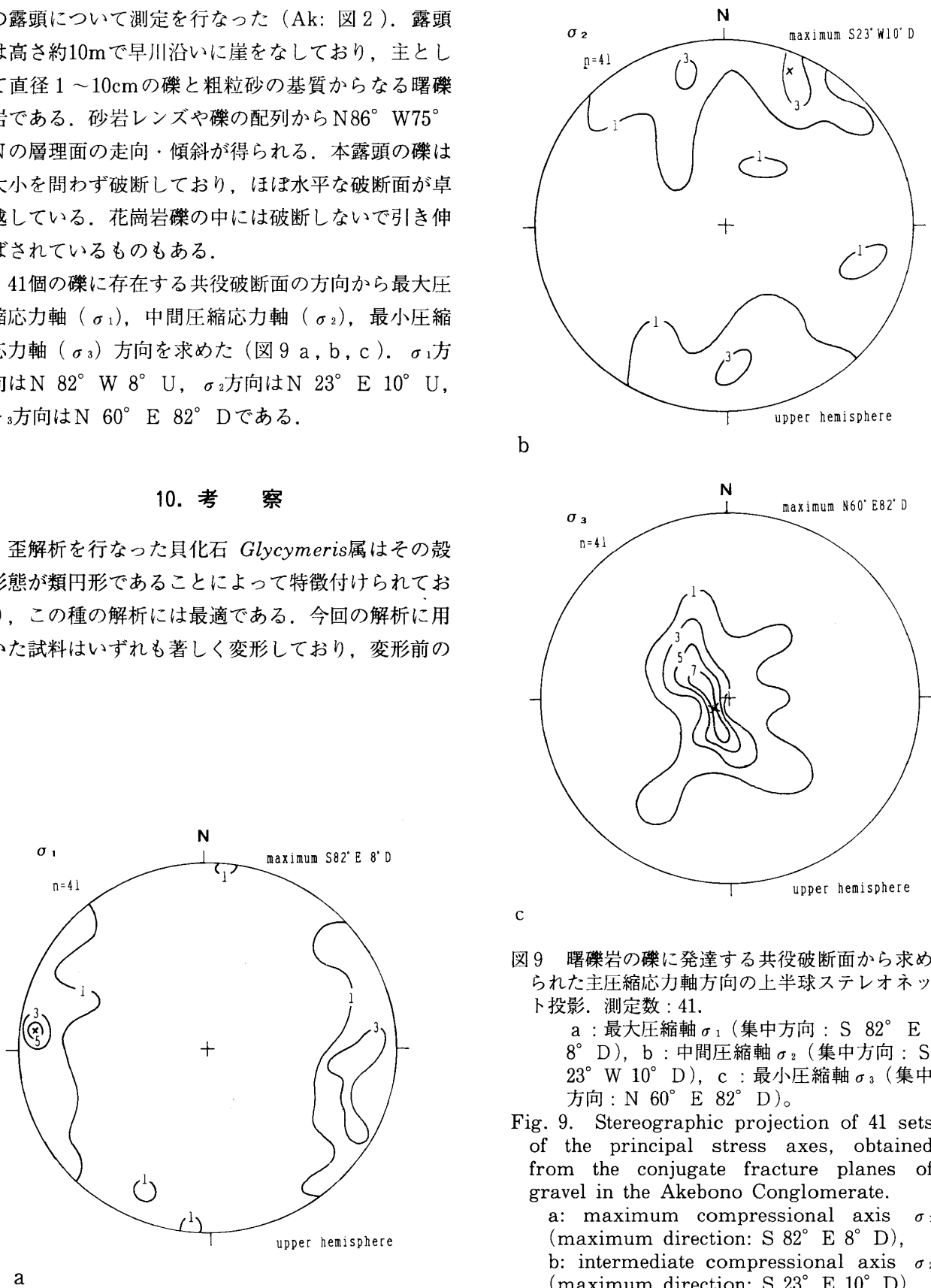


図9 曙礫岩の礫に発達する共役破断面から求められた主圧縮応力軸方向の上半球ステレオネット投影。測定数：41。

a : 最大圧縮軸 σ_1 (集中方向 : S 82° E 8' D), b : 中間圧縮軸 σ_2 (集中方向 : S 23° W 10' D), c : 最小圧縮軸 σ_3 (集中方向 : N 60° E 82' D)。

Fig. 9. Stereographic projection of 41 sets of the principal stress axes, obtained from the conjugate fracture planes of gravel in the Akebono Conglomerate.

a: maximum compressional axis σ_1 (maximum direction: S 82° E 8' D), b: intermediate compressional axis σ_2 (maximum direction: S 23° W 10' D), c: minimum compressional axis σ_3 (maximum direction: N 60° E 82' D).

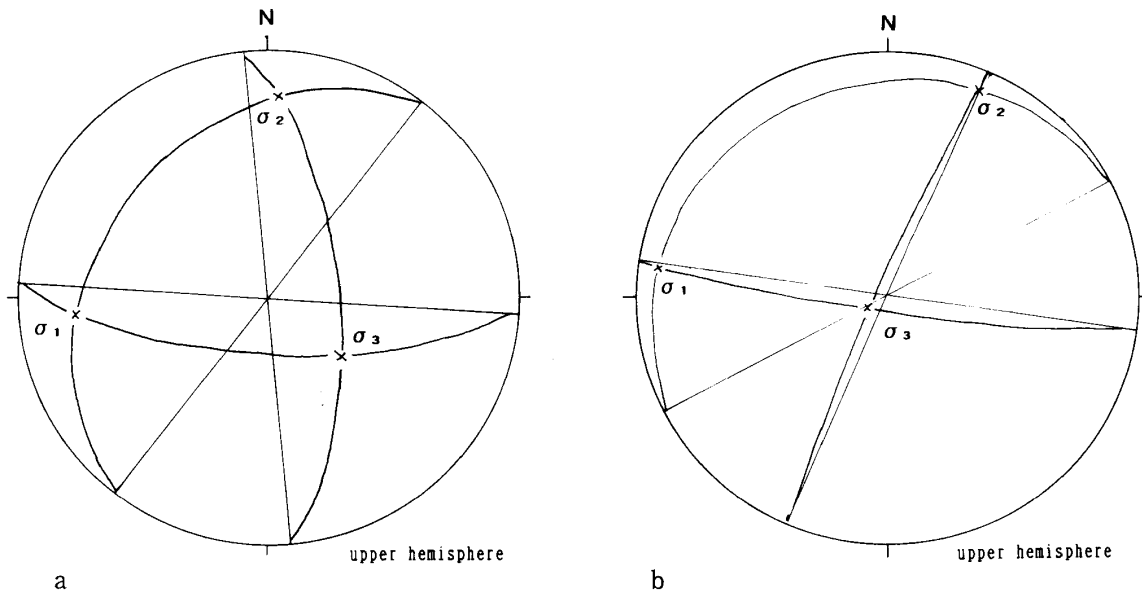


図10 遅沢砂岩部層の貝殻変形から求められた主圧縮応力軸方向と曙礫岩の破断礫から求められた主圧縮応力軸方向の上半球ステレオネット投影。a：遅沢砂岩部層の貝殻変形による、b：曙礫岩の破断礫による。

Fig. 10. Stereographic projection of principal compressional stress axes, obtained from deformation of molluscan fossils in the Osozawa Sandstone Member (a) and fractured gravel of the Akebono Conglomerate (b), on the upper hemisphere.

殻形態を特定することができず、変形前には円形と仮定して解析を行なった。*Glycymeris cisshuensis* は北朝鮮の上部中新統から記載されたものであり、模式標本および古第三紀の芦屋層、日南層群、中新世の板鼻層、唐鐘層、松江層から産出した化石試料の計測結果によると (MATSUKUMA, 1986)、殻形態はほぼ円形に近いが、殻高/殻長比は 1.11 ± 0.05 であり、厳密な変形解析を行なうためには考慮する必要がある。

殻変形角 θ と殻高軸・長軸間角 ω の関係において、直交する殻高軸と殻長軸を変形殻のマーカースとして使用しているため、殻がどの方向にも均質に歪んでいる場合には、 ω が $30 \sim 45^\circ$ を最小値とする値を持つはずであり、測定された θ はほぼこの傾向を持ち、均質に化石殻が変形していることが支持されるが、 l_1 と l_2 から求められた伸縮比 $R=1.2$ から算出される θ よりも測定値は小さい。逆に変形角 θ から伸縮比を求めると、 $R=3$ にも達するものもある (図8)。化石殻の中には局所的な変形が著しいために使用できなかった試料が18個存在したが、伸縮比に対するこの相違は、局所的変形のために θ が変化し

たものと予想される。

応力方向は短軸方向が最大圧縮応力軸 σ_1 方向 $N 85^\circ E 25^\circ D$ となり、長軸方向が最小圧縮応力軸 σ_3 方向 $N 51^\circ W 59^\circ D$ となり、両軸に直交する中間圧縮応力軸 σ_2 方向は $N 6^\circ E 19^\circ U$ となる。これらの方向は礫の破断から求められた応力軸方向と良く一致している (図10)。

中間圧縮応力軸が地層面に直交していることは、化石の変形や礫の破断をもたらした応力が、現在のように堆積面が急斜する以前に働いたことを示唆している。また、貝化石が破断せずに変形を起こしたり、礫が破断していることは、この応力がきわめて高い封圧下で働いたことを示唆している。低封圧下では、基質との力学挙動の差から、貝殻は破断を起こしたり基質中を移動するので、ここに求められたような集中した応力方向を持つことは期待できない。礫岩の場合においても、礫と基質の力学的挙動に差が大きい低封圧下では、礫と基質の差が無く破断することはできない。この高い封圧は、1800m以上の厚さを持つ曙礫岩 (高木・岡田, 1987; 狩野ほか, 1985) の埋積圧によるものと予測される。化石の変

形や礫の破断が示すように、この高い埋積圧と同等あるいはそれ以上の応力が水平方向に働いていたことは、極めて特殊なテクトニック環境であったことを示している。最大圧縮応力軸の方向が、現位置ではほぼ東西となっているが、地層が 70° 以上に傾斜しており、褶曲軸もほぼこの角度で北に急斜する褶曲形態を有しているため、地層を走向方向を軸とする単なる傾動として地層傾斜補正を行ない変形当時の応力方向を復元することはできない。この地域を含む巨摩山地における地質調査と古地磁気学的研究によると、単なる傾動補正によって求められた古地磁気の方向は、一定の方向を持たず、褶曲軸の傾きについての補正が必要なことを示すとともに、断層による影響も大きく（田村ほか、1984）、今後の詳細な検討が待たれる。

今回、報告した遅沢砂岩部層は、向斜構造の東翼にも分布していることから、化石変形について同様な解析と古地磁気測定を行なうことにより、化石変形時の応力場と地質構造を形成した応力場との関係を明らかにすることが可能となろう。

謝 辞

ここに報告した静岡大学教育学部における卒業論文の作成に当たって、兵庫教育大学の徳山明博士に御指導をいただき、貝化石変形を測定する装置や方法を考案していただいた。東京大学の吉田鎮男博士には、研究の進め方や研究方法について御指導いただいた。京都大学の鎮西清高博士には貝化石の同定をしていただいた。

本報告をまとめるに当たり、九州大学の松隈明彦博士には *G. cisshuensis* について討論いただくとともに資料を提供していただいた。東京大学の吉田鎮男博士、静岡大学の狩野謙一博士、増田俊明博士、長浜裕幸博士、千葉 聡博士、Robert ROSS 博士には討論いただいた。

以上の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- AKIMOTO, K. (1991), Paleoenvironmental studies of the Nishiyatsushiro and Shizukawa Groups, South Fossa-Magna region. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 2nd Ser. (Geol.)*, **61**, 1-102.
- AMANO, K. (1991), Multiple collision tectonics of the South Fossa Magna in central Japan. *Modern Geol.*, **15**, 315-329.
- BREDDIN, H. (1964), Die tektonische Deformation der Fossilien und Gesteine in der Mollasse von St. Gallen (Schweiz). *Geol. Mitt. Aache*, **4**, 1-68.
- 金子 剛・石黒 均・田村淳一・新妻信明 (1983), 南部フォッサマグナ地域新生界地層名辞典. 静大地球科学研報, **9**, 1-228.
- 狩野謙一・鈴木勇也・北里 洋 (1985), 富士川上流中富地域の静川層群の古地理. 静大地球科学研報, **11**, 135-153.
- MATSUDA, T. and NIITSUMA, N. (1989eds.), Collision tectonics in the South Fossa Magna, central Japan. *Modern Geol.*, **14**, 1-152.
- MATSUKUMA, A. (1986), Cenozoic Glycymeridid bivalves of Japan. *Palaeont. Soc. Japan, S.P.*, **29**, 77-94.
- 新妻信明 (1991), 駿河トラフにおけるプレート沈み込みと南部フォッサマグナの地質. 月刊地球, 号外 **3**, 174-179.
- NIITSUMA, N. (1991ed.), Collision tectonics in the South Fossa Magna, central Japan. *Modern Geol.*, **15**, 314-411.
- NIITSUMA, N. (1992), Arc-arc collision in the South Fossa Magna, central Japan. *29th IGC Field Trip Guide Book*, **2**, 109-149, Geol. Surv. Japan, Tsukuba.
- 新妻信明・大塚謙一・狩野謙一・和田秀樹・佐藤隆一・渋谷朝紀・竹内真司・吉田智治・大浦坂勝利 (1990), 駿河トラフにおけるプレート沈み込みの直視観察. 海洋科学技術センター試験研報, 「しんかい 2000」特集 **6**, 261-276.
- 新妻信明・徐 垣・DRESSER, D. (1992), 伊豆ゴージにおけるプレート境界の「しんかい6500」潜航調査. 海洋科学技術センター試験研報, 「しんかい」特集 **8**, 135-144.
- 大塚弥之助 (1934), 身延山麓の化石と箱根早川石灰岩の貝化石. 地質雑, **41**, 562-568.
- 田力とよ子 (1979MS), 静川砂岩層中の二枚貝化石の変形. 静岡大学教育学部地学卒業研究, 61p.
- 高木 登・岡田博有 (1987), 南部フォッサマグナ, 礫岩の堆積学的研究. 静大地球科学研報, **13**, 11-24.
- 田村淳一・金子 剛・新妻信明 (1984), 山梨県西部・巨摩山地南部の地質. 静大地球科学研報, **10**, 23-54.

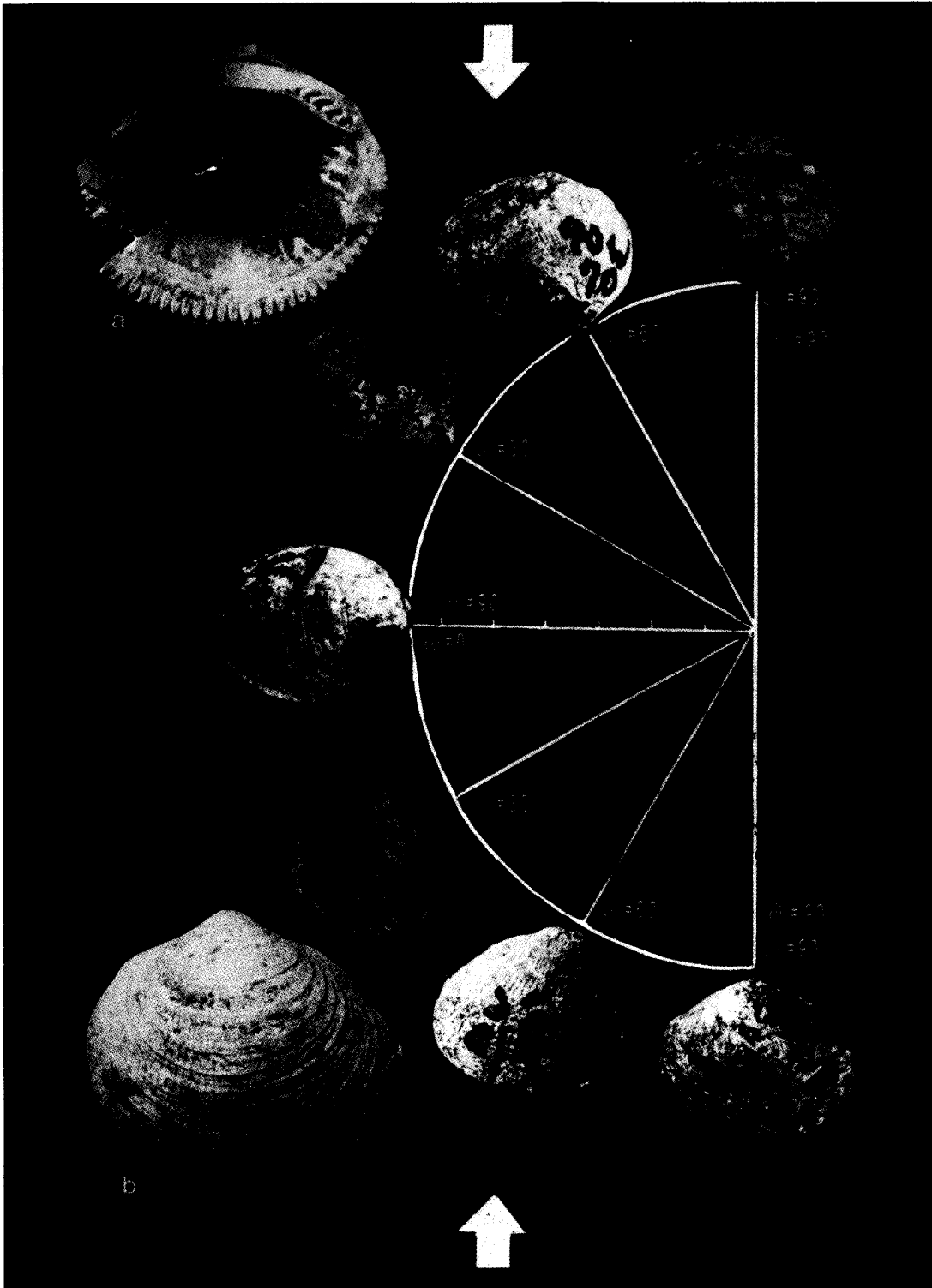


写真1 北朝鮮産の模式標本（左上下a, b; MATSUKUMA, 1986）と遅沢砂岩部層の変形した *Glycymeris. cisshuensis*. 変形 *G. cisshuensis* の方向は変形角 ω に従い、長軸方向（白矢印）を合わせて配列してある。横軸の目盛りは1 cm.

Plate 1. Holotype from North Korea (left upper a and lower b; MATSUKUMA, 1986) and deformed *Glycymeris. cisshuensis* of the Osozawa Sandstone Member. The deformed shells of *G. cisshuensis* are arranged according to the deformed angle ω . The shortning axis is fixed (white arrow). Horizontal scale: 1 cm interval.